

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 8 月 18 日 (18.08.2005)

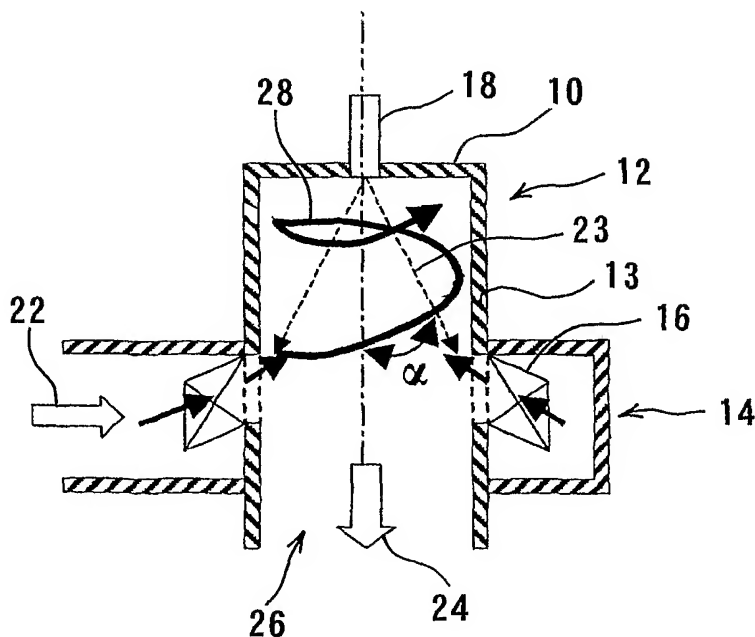
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/075888 A1

- (51) 国際特許分類: F23C 11/00, F23D 11/12, 14/02, 21/00, F23L 1/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/002374
- (22) 国際出願日: 2005 年 2 月 9 日 (09.02.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2004-032933 2004 年 2 月 10 日 (10.02.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 荏原製作所 (EBARA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1448510 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 天野 俊輔 (AMANO, Shunsuke) [JP/JP]; 〒2518502 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏原総合研究所内 Kanagawa (JP). 新井 雅隆 (ARAI, Masataka) [JP/JP]; 〒3760011 群馬県桐生市相生町 2 - 6 0 8 - 7 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 渡邊 勇, 外 (WATANABE, Isamu et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 5 番 8 号 GOWA 西新宿 4 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, [続葉有]

(54) Title: COMBUSTION APPARATUS AND COMBUSTION METHOD

(54) 発明の名称: 燃焼装置及び燃焼方法



(57) Abstract: A combustion apparatus capable of producing the recirculation of combustion gas by positively controlling the recirculation by a simple structure. The combustion apparatus comprises a tubular container (12) having a combustion chamber, a closed end part (10), and an open end part (26), inflow passages (20) feeding combustion air into the combustion chamber in the tubular container (12), and a fuel nozzle (18) feeding a fuel into the combustion chamber in the tubular container (12). An air flow (28) having a speed component in the direction of a center axis (J) starting at the open end part (26) toward the closed end part (10) and a speed component in the circumferential direction of the annular container (12) is formed in the apparatus. A fuel (23) is jetted to have a speed composition in the direction of the center axis (J) starting at the closed end part (10) toward the open end part (26) and a speed component in the radial outer direction.

(57) 要約: 本発明に係る燃焼装置は、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる。燃焼装置は、燃焼室と閉鎖端部 (10) と開放端部 (26) とを有する筒状容器 (12) と、筒状容器 (12) 内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路 (20) と、筒状容器 (12) 内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズル (18) とを備えている。開放端部 (26) から閉鎖端部 (10) に向かう中心軸 (J) 方向の速度成分及び環状容器 (12) の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れ (28) を形成する。閉鎖端部 (10) から開放端部 (26) に向かう中心軸 (J) 方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料 (23) を噴射する。

置は、燃焼室と閉鎖端部 (10) と開放端部 (26) とを有する筒状容器 (12) と、筒状容器 (12) 内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路 (20) と、筒状容器 (12) 内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズル (18) とを備えている。開放端部 (26) から閉鎖端部 (10) に向かう中心軸 (J) 方向の速度成分及び環状容器 (12) の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れ (28) を形成する。閉鎖端部 (10) から開放端部 (26) に向かう中心軸 (J) 方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料 (23) を噴射する。

WO 2005/075888 A1



SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

燃焼装置及び燃焼方法

5 技術分野

本発明は、燃焼装置及び燃焼方法に係り、特に燃焼室に燃焼用空気及び燃料を流入し、燃焼用空気及び燃料を混合して燃焼する燃焼装置及び燃焼方法に関するものである。

10 背景技術

燃焼装置から排出される大気汚染物質、特に窒素酸化物（ NO_x ）に対する規制はますます強化されており、 NO_x の排出を低減する技術が求められている。

窒素酸化物（ NO_x ）は、その生成機構によりサーマル NO_x 、プロンプト NO_x 、そしてフューエル NO_x の3つに大別される。サーマル NO_x は高温において空気中の窒素が酸素と反応して生成されるもので、温度に強く依存する。プロンプト NO_x は、特に燃料過剰の火炎帯で生成される。フューエル NO_x は燃料中に含まれる窒素化合物が関与して生成される。

最近では窒素化合物を含まないクリーン燃料が使用されることが多く、その場合、フューエル NO_x は殆ど生成しない。プロンプト NO_x を低減するには、燃料過剰の設計を希薄燃焼の設計に改めることにより、その生成を抑えることができる。上述したフューエル NO_x 及びプロンプト NO_x の低減と比較すると、サーマル NO_x の低減は最も難しく、近年の NO_x 低減技術の鍵である。

ここで、サーマル NO_x を低減するには、燃焼温度を低下させることが重要である。燃焼温度を低下させるための技術としては、予混合燃焼、特に希薄予混合燃焼、予蒸発、濃淡燃焼、2段燃焼、燃焼ガス再循環などがある。

ガス燃料の場合、燃料を予め空気と良く混合してから着火、燃焼する予混合燃焼により、燃料濃度分布を均一化し、特に希薄燃焼の予混合燃焼では、燃焼温度を低減することができる。しかし、予混合燃焼においては安定燃焼範囲が狭く、逆火や吹飛びが起り易いという問題がある。また、液体燃料に対しては、予め燃料を蒸発（予蒸発）させないと予混合できないことが欠点である。

液体燃料の場合、燃料が流路断面積の小さいノズルを通過する際に微粒化されて噴射されるが、通常は着火時に燃料の液滴が残り、液滴が蒸発しながら燃焼するため、理論空気比となる場所が必ず存在し、局所的に高温となってしまう。そのため、サーマル NO_x の低減には限界がある。

5 それを解決する技術として、予蒸発がある。予蒸発は、燃焼器内部又は外部に予蒸発部を設け、そこに噴霧した燃料を他からの加熱により蒸発させた後に燃焼させる技術である。予蒸発によれば、気体燃料と同等のサーマル NO_x 低減が期待できる反面、予蒸発部の分だけ、燃焼装置のサイズが大きくなってしまふという欠点を有している。

10 また、燃料又は空気を数段に分割して燃焼装置内に供給して空気比を燃焼室内の各領域毎に制御することが行われている。この場合には、理論空気比よりも燃料濃度の濃い部分と燃料濃度の薄い部分が意図的に作られ、理論空気比となる混合状態の領域を避けることでサーマル NO_x の低減が図られている。

15 しかし、かかる技術は、大型の燃焼炉では多くの実績があるが、燃料又は空気の供給系が複雑になるため、小型の燃焼装置には適用できない。また、燃料や空気の供給位置や分割割合の最適値を見出すことや、負荷に対応してこれらを制御することは難しいとされている。

20 燃焼ガス再循環 (Burnt Gas Recirculation) においては、高温かつ酸素濃度が低い既燃焼ガスを燃焼前の空気と混合することによって、緩慢で均一な燃焼を実現する。これにより、燃焼温度を低下させると共に、不活性ガスを増加して熱容量を増加せしめ、平均火炎温度を低下させ、以って、サーマル NO_x を低減する。燃焼ガス再循環は、主にボイラ、工業炉の燃焼装置及びエンジンに適用されている。

25 燃焼ガス再循環を起こす手法としては、保炎器によるもの、外部再循環、内部再循環が挙げられる。なお、煙道ガス再循環 (FGR: Flue Gas Recirculation) 及び排ガス再循環 (EGR: Exhaust Gas Recirculation) と呼ばれる燃焼方式もあるが、これらは燃焼ガス再循環と基本的に同一の技術である。

30 例えば、特開 2002-364812 号公報には、気体燃料に対して燃焼ガス再循環を利用した例が開示されており、特許 3139978 号公報には、気体燃料の予混合燃焼に対して燃焼ガス再循環を利用した例が開示されている。いずれも保炎板の下流中央に形成される再循環領域と、燃焼室内に突設

した燃焼装置と燃焼室壁との間の空間において燃焼ガスが再循環されるものである。

しかし、保炎板の下流中央での燃焼ガス再循環流は着火前の燃料と空気が混合している部分には及ばず、その作用は単に着火を安定させることに止まる。また、燃焼装置と燃焼室壁との間の空間からの燃焼ガス再循環流は、実
5 際には燃焼装置近傍のみの循環に止まるので、十分に燃焼して高温、低酸素濃度となった燃焼ガスは再循環せず、且つ循環量が少ないためサーマルNO_xの低減効果は小さい。

さらに、これらの燃焼装置では、燃焼ガス再循環流が燃焼装置の外側から
10 中心軸方向へ吸引されるようにするため、燃焼室の寸法を燃焼装置の径よりも十分大きくする必要があり、ガスタービンの燃焼装置など燃焼室の寸法をなるべく小さくする必要がある用途には適していない。また、液体燃料に適用するのは難しい。

例えば特開平9-133310号公報には、保炎板により保炎板後方中央
15 から燃焼ガスを再循環させるとともに、火炎を分割浮き上がり火炎として、火炎側方からも燃焼ガスを再循環させる気体燃料に関する技術が開示されている。かかる技術によれば、燃焼ガス再循環の量を大きくすることができるが、分割火炎とするためにバーナの構造が複雑になり、バーナ断面において火炎のない部分があるため、バーナの寸法が大きくなってしまう（容積あたりの燃焼負荷が低い）という問題を有している。また、この技術を液体燃料
20 に適用するのは難しい。

例えば特開平11-153306号公報に開示されたボイラ用バーナにおけるガス燃料の予混合燃焼器においては、燃焼室壁に複数の予混合気噴射孔が設けられ、一つの予混合気が燃焼ガスとなって隣の予混合気噴射孔めがけて噴射されるようになっている。しかし、予め燃料と空気が混合されている
25 ので着火時に燃焼に関与する空気は新鮮空気であり、燃焼開始後に燃焼ガスと始めて混合するため、燃焼を緩慢にする効果が少ないという問題がある。また、ガス燃料の予混合燃焼に関する技術であり、予混合気が次の噴射孔に到達するまでの時間が短く、液体燃料に適用するのは難しいと考えられる。

例えば特許3171147号に開示されたボイラ用バーナにおいては、主
30 に液体燃料に対して、燃料ノズル周りを流れる燃焼用空気の運動エネルギーにより低圧部を作り、炉内の燃焼ガスを吸引して燃焼用空気に燃焼ガスを混合するものである。しかし、燃焼用空気の外側で燃焼ガスを混合するので、燃

焼用空気の内側には殆ど混合せず、燃料は先ず燃焼用空気と混合した後に、徐々に燃焼ガスと混合する。従って、燃焼現象を支配するのは通常と同じ酸素濃度を持つ燃焼用空気であり、実際には低酸素濃度下での緩慢な着火、燃焼という狙いを十分に実現できない。また、燃焼ガスを吸引するための構造が複雑である。さらに、分割火炎を採用しているので、バーナの構造が複雑になり、バーナ断面積に対して火炎のない部分があるためバーナの寸法が大きくなってしまう（容積当たりの燃焼負荷が低い）という問題点が存在する。

例えば、特開 2 0 0 0 - 1 7 9 8 3 7 号公報には、円筒状の燃焼装置内で旋回流を誘起し、その旋回流の中心部は静圧が低下するため、旋回面の法線方向から別の気体を旋回中心に吸引する技術が開示されており、かかる技術は円筒状燃焼装置における 2 次燃焼領域での燃焼ガス再循環に適用されている。燃焼用の 1 次空気と 2 次空気、それ以外に燃料供給にも夫々旋回流を誘起させる作用を持たせているが、旋回によって導入される燃焼ガスの再循環の効果は 2 次燃焼領域の燃焼制御に止まっていて、火炎の根元近くの燃料濃度の高い領域を燃焼ガス再循環の対象領域としていない。従って、NO_x 低減効果も火炎末端部の温度制御だけの限定した効果となっている。

次に、図 1 ～図 3 を参照して、従来の燃焼装置の具体的な構成及びその問題点をさらに詳しく説明する。

従来の汎用の燃焼装置の一例を図 1 に示す。図 1 に示す燃焼装置は、筒型の燃焼装置であって、筒状容器 2 0 0 1 と、流入ケーシング 2 0 0 2 と、旋回器 2 0 0 3 と、仕切り筒 2 0 0 4 と、燃料ノズル 2 0 0 5 と、燃料ノズル 2 0 0 5 の下流に燃料ノズル 2 0 0 5 と同軸に配置された保炎板 2 0 0 6 とを備えている。筒状容器 2 0 0 1 と流入ケーシング 2 0 0 2 と旋回器 2 0 0 3 と仕切り筒 2 0 0 4 とによって流入流路が形成されている。

燃焼用空気 2 0 1 0 は送風機又は圧縮機（図示せず）によって流入ケーシング 2 0 0 2 に流入し、仕切り筒 2 0 0 4 と燃料ノズル 2 0 0 5 の間の空間 2 0 1 2 を通った後、保炎板 2 0 0 6 をよぎって筒型容器 2 0 0 1 に流入する。また、流入ケーシング 2 0 0 2 に流入した燃焼用空気 2 0 1 0 は、旋回器 2 0 0 3 を通って筒状容器 2 0 0 1 に流入する。

一方、燃料 2 0 1 4 は燃料ポンプ、ブロワ、又は圧縮機（図示せず）によって燃料ノズル 2 0 0 5 を介して筒状容器 2 0 0 1 内に噴射される。燃料 2 0 1 4 と燃焼用空気 2 0 1 0 とが混合して燃焼し燃焼ガス 2 0 1 6 が発生する。発生した燃焼ガス 2 0 1 6 は筒状容器 2 0 0 1 の開口端 2 0 0 7 から流

出する。

ここで、保炎板 2006 と旋回器 2003 はどちらも安定した着火をもたらすためのものであり、いずれか一方のみが用いられる場合が多い。前記保炎板 2006 は、図 1 に示す例では開口端 2007 側が拡径するような円錐状であり、仕切り筒 2004 と燃料ノズル 2005 の間の空間 2012 を流過する空気の流れをブロックして、燃料ノズル 2005 の先端での燃焼用空気 2010 の流速を低下させるとともに、保炎板 2006 の下流側に下流から逆流する流れ領域 2018 を形成する。また、旋回器 2003 は燃焼用空気 2010 の流れを旋回させることによって、旋回流中心において負圧の領域を形成して下流から逆流する流れ領域 2019 を形成する。前記下流からの逆流 2018、2019 は高温の燃焼ガス 2016 を燃料ノズル 2005 の先端の直ぐ下流の着火領域に戻す。

しかし、これらの燃焼ガスの逆流は燃料航跡 2014 の内側のみであり、燃料 2014 と空気 2010 が混合している部分には及ばない。従って、燃焼ガスの逆流の作用は単に着火を安定させることである。また、旋回器 2003 には燃料 2014 と燃焼用空気 2010 の混合を促進する作用もある。

燃焼ガス再循環に注目した従来の燃焼装置の構成、作用及びその問題点について、図 2 を参照して説明する。図 2 に示す燃焼装置は、ボイラや工業炉に適用される筒型燃焼装置であり、図 1 に示した従来の燃焼装置の構成に加えて、容器 2001 の外側に配置される第 2 の旋回器 2030 と外筒 2031 とを備えている。

図 2 に示す燃焼装置の作用を説明する。第 2 の旋回器 2030 が燃焼室壁 2032 から離れている場合には、燃焼用空気 2010 が流れることによる誘引作用で、第 2 の旋回器 2030 を介して燃焼室内の燃焼ガス 2016 が吸引され、燃焼用空気 2010 と混合して燃焼が起こる。

これが従来技術による燃焼ガスの再循環の代表的な例であるが、燃焼ガス 2016 が燃焼用空気 2010 の旋回流の外側から導入されているので、燃焼用空気 2010 の内側には殆ど混合せず、燃料 2014 は先ず燃焼用空気 2010 と混合した後に徐々に燃焼ガス 2016 と混合する。よって燃焼現象を支配するのは通常と同じ酸素濃度を持つ燃焼用空気 2010 であり、実際には低酸素濃度下での着火、燃焼を実現できていない。

また、図 2 に示す燃焼装置では、燃焼ガス再循環流が外筒 2031 の外側から吸引されるために、燃焼室の寸法を外筒 2031 の径よりも十分大きく

する必要がある。従って、この燃焼装置は、ガスタービンの燃焼装置など、燃焼室の寸法を極力小さくする必要がある用途には適していない。

従来の筒状のガスタービン燃焼装置の構成、作用及び問題点について図3を参照して説明する。従来のガスタービンの燃焼装置は、目的とする温度が理論空気量、すなわち、燃料の燃焼に丁度必要な酸素量を含む空気量による燃焼での火炎温度よりかなり低いためにトータル空気比が非常に低く、通常

の炭化水素系の燃料を用いる場合、1段で燃焼させることは困難である。そのため、燃焼用空気の供給を数段に分割して、先ずその一部（1次空気2040）のみに燃料を混合して燃焼させ、その後に残りの空気を加えることによって所望の出口温度に対して完全燃焼を実現している。

容器2001aは流入ケーシング2002aの内部に完全に包まれて、通常燃料ノズル2005付近と容器2001aの出口とで固定されている。容器2001aは内部で燃焼が起こるので外面が燃焼用空気2010に冷却されても十分な高温となり、熱膨張によって容器2001aの軸方向に伸びるため、容器2001aは流入ケーシング2002aに熱膨張を吸収できるような構造で固定される必要がある。

また、燃料ノズル2005や点火装置（図示せず）は流入ケーシング2002aを貫通して容器2001aに取り付けられる必要があるが、熱膨張を吸収しつつ流入ケーシング2002aを貫通する構造が必要で、構造が複雑になりコストが掛かる。

容器2001aの内部で1段目の燃焼用空気が燃料と混合する位置から2段目の空気流入部までを1次燃焼領域2042と言う。ガスタービンの燃焼において、燃焼効率が低下して未燃成分が排出されたり、NO_x生成が増加したりしないように1次燃焼領域2042の下流で空気を加えるための技術的工夫は、多く公知となっている。

なお、図3において、符号2044は容器2001aに形成した空気孔を、符号2046はその空気孔2044から容器2001a内に流入する2次及び希釈空気を示す。

上述したように、燃焼ガス再循環による低酸素濃度下の燃焼がサーマルNO_xの低減に有効であることが知られている。しかし、燃焼ガス再循環による低酸素濃度下の燃焼に注目した従来の燃焼装置においては、十分な燃焼ガス再循環の量とNO_x低減効果があり、かつ液体燃料でも予蒸発燃焼を実現し、気体燃料と同様に予混合燃焼を実現できるものは見当たらない。

発明の開示

本発明は上述した従来技術の問題点に鑑みて提案されたものであり、単純な構成で、燃焼ガス再循環の効果を最大限に発揮して、液体燃料の予蒸発、
5 気体燃料／液体燃料の予混合燃焼、及び低酸素濃度における緩慢燃焼を実現して、 NO_x の生成を抑制した燃焼を実現することができる燃焼装置及び燃焼方法の提供を目的としている。

また本発明は、耐高温を目指したセラミック化を低コストで実現するのに適しており、特にガスタービン用燃焼装置に適用した場合に構造を単純化す
10 ることができ、コストダウン可能な燃焼装置の提供を目的としている。

本発明の第1の態様によれば、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる燃焼装置が提供される。この燃焼装置は、単筒状の燃焼室と、燃焼用空気を上記燃焼室内に供給する空気供給部と、上記燃焼室内に燃料を供給する燃料供給部とを備えている。上記燃焼装置は、
15 上記燃焼室内に供給された空気が、上記燃料供給部から離隔した領域で上記燃焼室内に供給された燃料の航跡と最初に交わり、上記燃料供給部近傍の領域で供給された燃料の航跡と再び交わるように構成されている。

この場合において、上記燃料供給部は、上記燃焼室の中心軸方向の速度成分と上記燃焼室の中心軸から該燃焼室の壁面に向かう方向の速度成分とを有する燃料の流れを形成するように構成されていることが好ましく、上記空気供給部は、上記燃焼室の中心軸方向については燃料の流れと対向する向きの速度成分を有し且つ周方向へ旋回する速度成分を有する燃焼用空気の流れを形成するように構成されていることが好ましい。さらに、上記燃料の流れは燃焼装置の出口方向へ向かう速度成分を有しており、上記燃焼用空気の流れ
25 は出口方向と逆方向へ向かう速度成分を有していることが好ましい。

本発明の第2の態様によれば、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる燃焼装置が提供される。この燃焼装置は、閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、上記筒状容器の中心軸方向に上記閉鎖端部から離隔した位置で筒状容器の側面を貫通して形成され、上記筒状容器内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路と、上記筒状容器の閉鎖端部の内側に設けられ、上記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルとを備えている。上記流入流路は、上記開放端部から上記閉鎖端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び上記筒状容器の周方向に旋回す
30

る速度成分を有する空気の流れを形成するように構成されている。上記燃料ノズルは、上記閉鎖端部から上記開放端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料を上記流入流路に向けて噴射するように構成されている。

- 5 本発明の第3の態様によれば、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる燃焼装置が提供される。この燃焼装置は、閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、上記筒状容器内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路と、上記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルとを備えている。上記筒状容器は、上記閉鎖端部から上記筒状容器
- 10 の中心軸に沿って所定の距離だけ離れた位置で径が小さくなっている。上記流入流路は、上記筒状容器の径が小さくなっている部分に形成されるとともに、上記開放端部から上記閉鎖端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び上記筒状容器の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れを形成するように構成されている。上記燃料ノズルは、上記閉鎖端部から上記
- 15 開放端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分（空気の流れと対向する向きの速度成分）及び半径方向外方へ向かう速度成分（半径方向外側に広がり角度を持つ速度成分）を有するように燃料を上記流入流路に向けて噴射するように構成されている。

- 本発明の第4の態様によれば、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に
- 20 制御して発生させることができる燃焼装置が提供される。この燃焼装置は、閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、上記筒状容器の中心軸と略同軸に且つ上記開放端部側に配置され、上記筒状容器の径よりも小さな径を有する筒状部材（2次筒）と、上記筒状容器の開放端部と上記筒状部材の外周面とを接続する環状の接続部材と、上記接続部材に形成され、上記筒状容器内の
- 25 の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路と、上記筒状容器の閉鎖端部の内側に設けられ、上記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルとを備えている。上記流入流路は、上記開放端部から上記閉鎖端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び上記筒状容器の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れを形成するように構成されている。上記燃料ノズルは、
- 30 上記閉鎖端部から上記開放端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の（空気の流れと対向する向きの）速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料を上記流入流路に向けて噴射するように構成されている。

上記筒状容器の側面の上記閉鎖端部近傍に、上記筒状容器の半径方向内側

に向かって空気を流入するための第2の流入流路を設けてもよい。

上記筒状容器内部の閉鎖端部及び／又は上記閉鎖端部近傍の側壁に、上記開放端部から上記閉鎖端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分を持ち且つ上記筒状容器の周方向へ旋回する空気の流れを、上記閉鎖端部近傍
5 の領域で抑制する整流構造を設けてもよい。

上記筒状容器内部の閉鎖端部及び／又は上記閉鎖端部近傍の側壁に、上記開放端部から上記閉鎖端部に向かう上記筒状容器の中心軸方向の速度成分を持ち且つ上記筒状容器の周方向へ旋回する空気の流れを、上記閉鎖端部近傍の領域で半径方向内方に向かう流れに変換する整流構造を設けてもよい。

10 上記筒状容器内部で上記中心軸方向について上記流入流路よりも上記閉鎖端部に近い位置に付加的な燃料ノズルを設けてもよい。

本発明の第4の態様によれば、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる燃焼方法が提供される。この燃焼方法によれば、燃焼装置内の燃焼室に燃焼用空気及び燃料を流入して混合して燃焼さ
15 せる。上記燃焼室内の空気流の航跡と燃料流の航跡が同一ではない。上記空気流の航跡は、上記燃料流の航跡と、最初に上記燃料流の航跡の先端近傍の領域で交わり、次に上記燃料流の航跡の根元から上記先端近傍までの範囲で交わる。

上記燃料流は、上記燃焼室の中心軸方向の速度成分と、上記燃焼室の中心
20 軸から上記燃焼室の壁面に向かう方向の速度成分とを有することが好ましく、上記空気流は、上記燃焼室の中心軸方向については上記燃料流と対向する向きの速度成分を有し且つ周方向へ旋回する速度成分を有することが好ましい。

本発明によれば、燃焼室内の空気流の航跡と燃料流の航跡とを同一にすることなく、空気流の航跡と燃料流の航跡とが2回交わり、空気流の航跡が最初
25 に燃料流の航跡と交わるのは燃料航跡の先端近傍の領域で、空気流の航跡が燃料流の航跡と2回目に交わるのは、燃料流の航跡の根元から先端近傍までの範囲であるように構成したので、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる。

そのため、本発明を汎用の燃焼装置に適用した場合には、安定性が高く、
30 且つ燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができる。

そして、高い安定性で燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができるため、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼させることができる。そのため、従来の技術では低 NO_x 化が困難であった液体燃料の場合であっても、

安定的な蒸発挙動を持った予蒸発燃焼、気体燃料・液体燃料を問わない予混合燃焼、緩慢な燃焼を行い、均一で最高火炎温度の低い燃焼や、燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量による平均火炎温度の低い燃焼を実現することができる。従って、従来技術では困難であったサーマル NO_x の抑制を、実現することができるのである。

ここで、燃焼室内の空気流の航跡と燃料流の航跡とを同一にすることなく、空気流の航跡と燃料流の航跡とが2回交わり、空気流の航跡が最初に燃料流の航跡と交わるのは燃料航跡の先端近傍の領域で、空気流の航跡が燃料流の航跡と2回目に交わるのは、燃料流の航跡の根元から先端近傍までの範囲であるようにするためには、例えば、空気流と燃料流とが対向しており、空気は出口方向から逆向きに流れ且つ燃料は出口方向へ流れ、燃料は噴射した側から離隔するに連れて燃焼室の中心軸と直交する方向の外側（筒状容器であれば半径方向外方）へ広がるようにすると良い。

ここで本発明によれば、上記燃料流は、燃焼室中心軸方向の速度成分と燃焼室中心軸から燃焼室壁面に向かう方向の速度成分とを有し、上記空気流は、燃焼室中心軸方向については燃料の流れと対向する向きの速度成分を有し且つ周方向へ旋回する速度成分を有するように構成されており、燃料の流れは燃焼装置の出口方向へ向かう速度成分を有しており、燃焼用空気の流れは出口方向と逆方向へ向かう速度成分を有しているので、上述した流れを実現することができる。

そして本発明では、空気供給手段（流入流路）から燃焼室内に供給された空気の流れの一部が低温の燃焼ガス或いは燃焼ガスとはならない空気流として、燃焼室内壁面に沿って流れる。その結果、燃焼装置の内壁は、低温の燃焼ガス或いは燃焼ガスとはならない空気流によって、燃焼装置内部の熱から保護される。その結果、燃焼熱に対する耐久性の高い燃焼装置の提供が実現する。

上述したように、本発明によれば、燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる単純な構造が提供されるので、セラミックス等の耐熱材料の使用が容易で、分解及び部品交換が容易で、しかも、整備性に優れた燃焼装置が実現する。

また、補助燃料ノズル（付加燃料ノズル）を設けた場合は、気体燃料／液体燃料の混焼や、低発熱量の燃料や廃液の燃焼においても、サーマル NO_x の生成を抑制できる。

上述したような構成を具備する本発明を、1次燃焼領域としてガスタービン燃焼装置に適用した場合には、単純な構造で燃焼ガス再循環を積極的に制御して発生させることができる。そして、ガスタービン燃焼装置の1次燃焼領域において、安定性が高く、且つ燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができる。

そして、高い安定性を有することに起因して、本発明を適用したガスタービン燃焼装置においては、1次燃焼領域をより希薄に設計できるので、平均燃焼温度を低く抑えて、サーマルNO_xの生成をさらに抑制できるという作用効果を奏する。

また、本発明の燃焼装置を適用したガスタービン燃焼装置では、高い安定性で燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができるため、例えば従来の技術では低NO_x化が困難であった液体燃料の場合であっても、サーマルNO_xの生成を抑制できる。

上述した通り、本発明の燃焼装置では、内壁が好適に低温の空気流によって冷却されるため、耐久性の高いガスタービン燃焼装置を提供できる。

さらに、本発明の燃焼装置では構造が簡単であることに起因して、セラミックス等の耐熱材料の使用が容易で、且つ分解、交換が容易になされるため、整備製に優れたガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

これに加えて、本発明の燃焼装置を適用したガスタービンでは、1次燃焼領域の外側に空気が流れず、ライナを露出させた構造とすることができるため、燃料ノズルや点火装置等を単純な構造で配置でき、コストダウンが可能である。

また、ケーシングに対するライナの熱膨張を低減できるため構造が単純になり、更なるコストダウンが可能である。

そして、補助燃料ノズル（付加燃料ノズル）を設けた本発明の燃焼装置を適用したガスタービンによれば、気体燃料／液体燃料の混焼や低発熱量の燃料や廃液の燃焼においてもサーマルNO_xの生成を抑制できる。

図面の簡単な説明

図1は、従来の筒状燃焼装置を示す断面図である。

図2は、従来の筒状燃焼装置の他の例を示す断面図である。

図3は、従来のガスタービン用筒状燃焼装置を示す断面図である。

図4は、本発明の第1実施形態における燃焼装置を示す斜視図である。

図 5 は、図 4 の断面図である。

図 6 は、本発明の第 2 実施形態における燃焼装置を示す斜視図である。

図 7 は、図 6 の断面図である。

図 8 は、本発明の第 3 実施形態における燃焼装置を示す斜視図である。

5 図 9 は、図 8 の断面図である。

図 10 は、本発明の実施形態における旋回器の一例を示す斜視図である。

図 11 は、本発明の実施形態における旋回器の他の例を示す斜視図である。

図 12 は、本発明の実施形態における旋回器の他の例を示す斜視図である。

10 図 13 は、本発明の実施形態における燃料ノズルの他の例を示す斜視図である。

図 14 は、図 13 の断面図である。

図 15 は、本発明の実施形態における燃料ノズルの他の例を示す斜視図である。

図 16 は、図 15 の断面図である。

15 図 17 は、本発明の実施形態に係る作用を示す斜視透視図である。

図 18 A は、図 17 の断面図である。

図 18 B は、図 18 A の拡大図である。

図 19 は、本発明の第 4 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

図 20 は、本発明の第 5 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

20 図 21 は、本発明の第 6 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

図 22 は、本発明の第 7 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

25 図 23 は、本発明の第 8 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

図 24 は、本発明の第 9 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

図 25 は、本発明の第 10 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

30 図 26 は、本発明の第 11 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

図 27 は、本発明の第 12 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

図 28 は、本発明の第 13 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図で

ある。

図 2 9 は、図 2 8 の断面図である。

図 3 0 は、本発明の第 1 4 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

図 3 1 は、本発明の第 1 5 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

5 図 3 2 は、本発明の第 1 6 実施形態における燃焼装置を示す断面図である。

図 3 3 は、本発明の第 1 7 実施形態における燃焼装置を示す斜視透視図である。

図 3 4 は、本発明の第 2 実施形態における燃焼装置において旋回器を用いない場合を示す斜視図である。

10 図 3 5 は、図 3 4 の断面図である。

図 3 6 は、本発明の燃焼装置をガスタービン発電機に適用した例を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

15 以下、本発明の実施形態における燃焼装置について図 4 から図 3 6 を参照して説明する。なお、各実施形態において同一部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

20 先ず、図 4 及び図 5 を参照して、第 1 実施形態における燃焼装置を説明する。図 4 及び図 5 に示す燃焼装置は、主にボイラや工業炉に、又ガスタービンにも適用できる汎用の燃焼装置であり、一端（閉鎖端部）1 0 が閉じられた筒状容器（以下、単に「容器」という）1 2 と、流入ケーシング 1 4 と、旋回器 1 6 と、前記容器 1 2 の上端（閉鎖端部）1 0 を貫通するように設けられた燃料ノズル 1 8 とを備えている。容器 1 2 の側面 1 3 には、複数の空気流入部 2 0 が共通ピッチで形成されており、この空気流入部 2 0 を介して
25 燃焼用空気 2 2 が容器 1 2 内に流入する、空気流入部 2 0、流入ケーシング 1 4、及び旋回器 1 6 により流入流路が形成されている。前記旋回器 1 6 は、詳細には後述するが、前記空気流入部 2 0 を含む容器 1 2 の側面 1 3 の周囲を包囲するように形成されている。

30 図 4 及び図 5 に示すように、燃焼用空気 2 2 は、送風機又は圧縮機（図示せず）によって流入ケーシング 1 4 に流入し、旋回器 1 6 を通って、前記空気流入部 2 0 から容器 1 2 内に流入する。燃料は、燃料ポンプ、ブロワ、又は圧縮機（図示せず）によって燃料ノズル 1 8 を介して容器 1 2 内に中心軸 J に対して角度 α の広がりを持って噴射（図中、符号 2 3 で示す航跡）され

る。燃料 2 3 と燃焼用空気 2 2 が混合して燃焼し、燃焼ガス 2 4 が容器 1 2 の開口端 2 6 から排出される。

第 1 実施形態に係る燃焼装置の特徴は、図 5 に示すように、燃焼用空気 2 2 が容器 1 2 の閉鎖端部 1 0 から容器 1 2 の軸 J 方向に所定距離だけ離れた位置において、容器 1 2 の閉鎖端部 1 0 から開放端部 2 6 に向かう向き（出口方向）に対して逆向きの速度成分を持って容器 1 2 内に流入して旋回流 2 8 を形成する（すなわち、筒状容器 1 2 の中心軸 J 方向を開放端部 2 6 から閉鎖端部 1 0 へ向かう速度成分を持ち且つ周方向へ旋回する速度成分を有する流れを形成する）とともに、燃料が容器 1 2 の閉鎖端部 1 0 から出口 2 6 方向に向けて、容器 1 2 の中心軸 J に対して径方向に広がり角度 α を持って、且つ、燃焼用空気の流入部 2 0 にめがけて噴射される（空気流入部 2 0 に向けて、中心軸 J 方向を閉鎖端部 1 0 から開放端部 2 6 に向かう速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有して燃料を噴射する：符号 2 3 で示す航跡）ことである。

図示はしないが、空気流入部 2 0 の容器 1 2 の側面 1 3 に対する開口割合や形状及びピッチは任意に設定できる。また、図示しないが燃焼用空気 2 2 の容器 1 2 への流入部 2 0 において、流入する燃焼用空気 2 2 の流れを、出口 2 6 と逆向きの速度成分を持つ限りににおいて偏向する構造を設けてもよい。容器 1 2 の中心軸に対して広がり角度を持った燃料の噴射 2 3 は、最も典型的には渦巻型ノズルによって実現できる。

なお、図 5 において、符号 2 8 は、空気流入部 2 0 から流入した燃焼用空気 2 2 と、燃料が混合、燃焼して発生した燃焼ガスで構成され、且つ、出口 2 6 と逆方向に大きな速度成分を有する旋回流を示す。

次に、図 6 及び図 7 を参照して第 2 実施形態における燃焼装置を説明する。図 6 及び図 7 に示す燃焼装置は、図 4 及び図 5 の第 1 実施形態における容器 1 2 を、容器の断面が燃焼用空気流入部において絞られた容器 1 1 2 に置き換えたものである。

すなわち筒状容器 1 1 2 においては、図 7 に示す上下方向の略中央において断面が不連続に変化する段付部 1 0 0 が形成され、その段付部 1 0 0 に燃焼用空気 2 2 を容器 1 1 2 内に流入させる空気流入部 2 0 が形成されている。なお、図 6 及び図 7 において、符号 1 1 0 は容器 1 1 2 の閉鎖端部を示す。

そのように形成された第 2 実施形態の燃焼装置では、流入ケーシング 1 4 を流過してきた燃焼用空気 2 2 が旋回器 1 6 に流入し、空気流入部 2 0 を経

由して、図7の下方から上方に向かって容器112内に流入する。なお、容器112内に流入した空気22は、詳しく後述する旋回器の構成によって、出口26とは逆方向に、より大きな速度成分を持った旋回流28を形成する。すなわち、筒状容器112の中心軸J方向を開放端部26から閉鎖端部110へ向かう速度成分を持ち且つ周方向へ旋回する速度成分を有する流れ28を形成する。そして、燃料は、空気流入部（流入流路）20に向けて、中心軸J方向を閉鎖端部110から開放端部26に向かう速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有して噴射される。

ここで、旋回器16及び流入ケーシング14については後述の図8及び図9の第3実施形態と概略同様であり、旋回器16及び流入ケーシング14に関する詳細説明は第3実施形態の説明の際に行う。

図6及び図7において、容器112の断面変化部である段付部100は容器112の中心軸J方向に直交して描かれているが、角度は任意である。また、図示しないが、空気流入部20の開口割合や形状及びピッチに関しても任意に設定できる。また、旋回器16は軸流形状に描かれているが、旋回器外周からも燃焼用空気22が流入する斜流形状としても良い。さらに、図示はしないが、空気流入部20において流入する燃焼用空気22の流れを径方向に偏向させる構造を設けてもよい。

次に、図8及び図9を参照して第3実施形態における燃焼装置を説明する。図8及び図9の第3実施形態の燃焼装置では、図4及び図5の第1実施形態における容器12が、製作上の要請に応じて断面変化部分（段付部）202で、容器212と、2次筒200と、接続部材270とに分割された構成に置き換えられた実施形態である。

図8及び図9において、接続部材270は容器212及び2次筒200の軸方向に直交して描かれているが、角度は任意である。図示しないが、容器212の側面212aと2次筒200の外周側面200aとの間に形成される環状隙間に設けた空気流入部20の開口割合や形状及びピッチに関しても任意に設定できる。また、旋回器16は軸流形状に描かれているが、旋回器16外周からも燃焼用空気22が流入する斜流形状としても良い。さらに、図示はしないが、空気流入部20において流入する燃焼用空気22の流れを径方向に偏向させる構造を設けてもよい。

第1実施形態～第3実施形態において、容器12、112、212の断面形状は円形であるが、任意の形状に変更が可能である。容器の中に全体とし

て旋回流を作る限りにおいては多角形であってもよい。また、容器12の断面形状は燃烧用空気流入位置以外で、軸方向に変化してもよい。以上の容器に関する等価な構造は、以降の全ての実施形態についても同様に適用できる。ここで、流入流路を構成する前記旋回器16の構成は様々に変形できる。

5 図8及び図9の第3実施形態を例にとり、旋回器16について、図10～図12を参照して、以下にその構成を詳述する。旋回器16は一般的には図10に示すように、内筒50と外筒52の間に流れを偏向する旋回羽根54を配置して空気導入路56を形成して構成する。また、旋回器16の他の方法として、図11に示すように、環状部材58に流れを偏向する複数の空気
10 導入路56aを開口してもよい。その際の空気導入路56aの形状、開口面積、個数は任意である。或いは、旋回器16と同様の作用を実現するさらに別の構成として、図12に示すように、前記接続部材270の空気流入部20毎に分割された空気導入路56bを、前記接続部材270に取り付けて構成してもよい。

15 また、図10及び図11の構成の旋回器16では、旋回器16が接続部材を兼ねてもよい。即ち、図10の例において、内筒50と外筒52とを廃止して、2次筒200（図8及び図9参照）と容器212（図8及び図9参照）とを旋回羽根54で接続することにより、旋回羽根54が接続部材270を兼ねることができる。図11の例においては、環状部材58が接続部材27
20 0を兼ねることができる。以上の旋回器16に関する等価な構造は、第1及び第2実施形態及び以降説明する燃烧装置に係る全ての実施形態についても同様に適用できる。

ケーシングに関しては、第1～第3実施形態の流入ケーシング14の形状は任意に変形できる。例えば図示はしないが、第1～第3実施形態のスクロール形状の流入ケーシング14を、容器12、112や、2次筒200の出口226の周囲から流入する形状としてもよい。また、図示はしないが、図12に示すような分割された空気導入路56bで旋回器16の作用を果たす
25 場合、空気導入路56に例えば延長管を接続して、その延長管を合流させた流入管を設けて流入ケーシング14に代えてもよい。以上の流入ケーシング
30 14に関する等価な構造は、以降の全ての実施形態についても同様に適用できる。

ここで、燃料ノズル18の構成は様々に変形できる。図8及び図9の第3実施形態で示した単一のノズルとしては、最も典型的には渦巻き型ノズルチ

ップによって、また、図示はしないが、容器 2 1 2 の中心軸に対して径方向外側に広がり角度を持って多数の噴孔を開けたノズルチップによっても実現できる。複雑な構造とはなるが、微粒化特性のよいノズルチップを使用してもよい。

- 5 燃料ノズルの別の構成方法としては、図 1 3 及び図 1 4 に示すように、単一の燃料ノズルに代えて、複数のノズル 1 8 a を容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 の略同心円上に配置しても実現できる。この場合も、燃料が容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 から出口 2 6 方向に向けて、容器 2 1 2 の中心軸 J に対して径方向外方に角度を持って噴流状、又は比較的小さい広がり角度の円錐状、
10 又は扇状に、且つ、燃焼用空気の流入部 2 0 をめがけて噴射される限りにおいて、単一のノズルと同様の作用が実現できる。ノズル 1 8 a を複数とすることで、特に大型の燃焼装置で単一のノズルが適用し難い場合に有効である。さらに別の燃料ノズルの構成方法としては、図 1 5 及び図 1 6 に示すように、中空材で形成され、多数の孔を開けた環 1 8 b によっても実現できる。以上
15 の燃料ノズル (1 8、1 8 a、1 8 b) に関する同様な構造は第 1 実施形態～第 3 実施形態、及び以降の全ての実施形態においても適用可能である。

発明者等は、第 3 実施形態に係る燃焼装置について、液体燃料で燃焼試験を行い、容器の中心寄りに一つと、外周寄りに環状の一つと、計二つの火炎が形成されること、容器の中心よりの火炎が均一なやや青い火炎で、外寄りの環状の火炎が非常に薄く均一な青い火炎となること、その現象から、予蒸発、予混合燃焼となっていること、そして結果として、NO_xの生成が抑制
20 されることを見出した。

図示の実施形態の作用について、図 8 及び図 9 の第 3 実施形態を例に挙げ、図 1 7、図 1 8 A 及び図 1 8 B に基づいて、以下にさらに詳しく説明する。

- 25 図 1 7、図 1 8 A 及び図 1 8 B に示すように、燃料 2 1 は燃料ノズル 1 8 から容器 2 1 2 の中心軸 J に対して径方向外側に広がり角度 α を持って噴射 (符号 2 3 の航跡) される。容器 2 1 2 の軸方向に対して広がり角度 α を持って噴射された (すなわち、流入流路 2 0 に向けて、中心軸 J 方向を閉鎖端部 2 1 0 から開放端部 2 6 に向かう速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有して噴射された) 燃料のいくつかの燃料航跡 2 3 a、2 3 b (図 1
30 7 参照) を考える。

図 1 7 を参照して、周方向のある位置から容器 2 1 2 に流入した燃焼用空気 2 2 b は、容器 2 1 2 内を出口 2 6 とは逆方向に旋回しながら廻り (すな

わち、筒状容器 212 の中心軸 J 方向を開放端部 26 から閉鎖端部 210 に向かう速度成分を持ち且つ筒状容器 212 の周方向へ旋回する流れ 28 を形成し)、一つの航跡 23a と位置 25 で交わる。

液体燃料の場合を考えたとき、位置 25 において燃料航跡 23a を経過してきた燃料は幾分蒸発して粒子の径が小さくなっており、且つ空気流の中を進んできたためにノズル 18 の出口近傍と比べて速度が遅く、且つ燃料 21 と燃焼用空気 22b の速度が対向する向きになっているため、燃料 21 は燃焼用空気 22b の流れに乗り、着火して火炎を形成して燃焼する。

燃焼用空気 22b は容器 212 を出口と逆方向に旋回しながらさらに遡上しつつ、高温低酸素濃度の燃焼ガス 24b となる。そして容器 212 の閉鎖端部 210 に近づくに連れて容器 212 の中心軸 J 寄りに向きを変え、容器 212 の中心軸 J 寄りにおいて出口 26 方向に向きを変え、位置 27 において燃料航跡 23b を横切る。即ち、燃焼ガス再循環が起こる。図 18A において、燃焼ガス 24a が横切る燃料航跡 23 は燃料航跡 23a と同じであってもよい。

位置 27 において、高温、低酸素濃度の燃焼ガス 24b は燃料を着火させずに予蒸発させる。蒸発した燃料は燃焼ガス 24b に伴流し、燃焼ガス 24b が高温ではあるが、低酸素濃度であるので燃焼速度を抑制するため、蒸発した燃料はすぐには着火せず予混合される。そして、所定時間経過の後、着火して燃焼し、燃焼ガス 24b はさらに高温、低酸素濃度の燃焼ガス 24 となって出口 26 から排出される。

従来技術とは異なり、図示の実施形態（図 17、図 18A 及び図 18B では第 3 実施形態を例示）では、大部分の燃料が燃焼用空気 22 と最初に接触することなく、最初に燃焼ガス 24b と接触することで、実際に低酸素濃度下で着火、燃焼が実現できることが重要である。

なお、図 17、図 18A 及び図 18B で示す実施形態においては、仮に燃料航跡 23 の根元近くでの燃料の蒸発が少ない場合には、より多くの燃料が燃料航跡 23 の先端で燃焼用空気 22b と混合して燃焼ガス 24b の温度が高くなることにより、燃料航跡 23 の根元での蒸発が促進される。即ち、蒸発量に対してフィードバック作用を持っている。よって、燃料噴射の条件が変化しても安定して本実施形態の作用が実現するような性質を持っている。

気体燃料の場合も、噴流状に燃料が空気の流れを突き抜け、周辺部が部分的に空気と混合しながら燃料噴流がその運動量を失う前に位置 25 まで届く

ように噴射することによって、液体燃料の場合と同様に燃焼用空気 2 2 b が容器 2 1 2 を出口 2 6 と逆方向に旋回しながら遡上しつつ燃料航跡 2 3 a と交わって燃料 2 1 と混合し、高温、低酸素濃度の燃焼ガス 2 4 b となる。

そして、容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 に近づくにつれて、容器 2 1 2 の中心軸 J 寄りに向きを変え、中心軸 J 寄りにおいて反転して、位置 2 7 において燃料航跡 2 3 b を横切り、燃焼ガス再循環が起こる。燃焼ガス 2 4 b は高温ではあるが低酸素濃度なので燃焼速度を抑制するため、直ぐに着火せず予混合となり、所定時間経過の後、着火して燃焼する。

図 1 7、図 1 8 A 及び図 1 8 B を参照して説明された図示の実施形態における基本的な作用として、空気及び燃料が燃焼装置内で、次のように流れる。すなわち、空気及び燃料は当該燃焼装置内で流れの向きを変えられて、燃焼装置内における燃焼用の空気と燃料のそれぞれの航跡が同一ではなく、空気の航跡と燃料の航跡とが 2 回交わり、且つ、空気にとって最初の交わりが燃料航跡の先端近傍で、2 回目の交わりが燃料航跡の根元から先端近傍までの領域で起こる。このように燃料と空気とを混合することにより、燃焼ガス再循環を積極的に制御して起こすことができる。

図示の実施形態の当該燃焼装置内の流れを、容器 2 1 2 の中心軸を通る断面で表現すると、図 1 8 A 及び図 1 8 B で示すようになっている。図 1 8 B において、容器 2 1 2 に流入する燃焼用空気 2 2 を位置に応じて模式的に 2 2 a、2 2 b、2 2 c、2 2 d に分けて図示してある。

筒状容器 2 1 2 に流入する燃焼用空気 2 2 の大半 2 2 b、2 2 c、2 2 d は、図 1 8 A で示すように、夫々燃料航跡 2 3 と衝突して燃焼ガス 2 4 b、2 4 c、2 4 d となり、容器 2 1 2 内を深く遡上して再度燃料航跡 2 3 を横切る。燃焼用空気の流入位置が容器 2 1 2 の外周 1 3 から離れるほど燃焼用空気はより浅い位置までしか遡上せずに反転する。容器 2 1 2 に流入する燃焼用空気 2 2 のうち、容器 2 1 2 の内面 2 1 2 b に一番近い位置から流入した燃料用空気 2 2 a は燃料 2 1 と衝突しないまま容器 2 1 2 内を最も深く遡上する。そして、遡上につれて燃焼ガス 2 4 b と混合して燃焼ガス 2 4 a となる。よって、燃料航跡 2 3 に沿って満遍なく燃焼ガス 2 4 a、2 4 b、2 4 c、2 4 d が横切ることとなり、燃焼ガス再循環の作用が最大限に発揮される。つまり、図示の実施形態の最も本質的な作用の一つは、燃料の航跡 2 3 に沿って満遍なく燃焼ガスが横切ることである。

これらの作用により、図示の実施形態に係る燃焼装置においては、図 1 8

Aに示すように、容器中心軸J寄りの主火炎60と、容器外周寄りの、しかし容器212の内壁からは離れた環状火炎62の二つが形成される。

環状火炎62は、燃焼用空気22が旋回しているため、容器212内での滞留時間が長く、且つ周方向によく混合されて均一になるとともに、燃焼用
5 空気22と燃料21が対向する形になっていること、そして、主火炎60から燃料21(23)と出会う前の燃焼用空気22に高温の燃焼ガスが乱流拡散によって供給されることによる燃焼用空気22の温度上昇と酸素濃度の低下が、燃料の着火を抑制しつつ蒸発を促進するため、火炎の安定度が高まる。

また、主火炎60は環状火炎62の燃焼ガス24a、24b、24c、2
10 4dが燃料航跡23を横切ることにより、環状火炎62が確実な着火源となって安定性が高くなるとともに、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼するために、予蒸発燃焼、予混合燃焼、且つ緩慢な燃焼となって、通常の拡散燃焼のように局所的に高温な箇所が存在する燃焼ではなく、均一で最高火炎温度の低い、且つ燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量により平均火炎温度が低い
15 燃焼となるため、サーマルNO_xの生成が抑制される。

図示の実施形態における冷却上の利点を説明すると、図18A及び図18Bにおいて、容器212に流入する燃焼用空気22のうち、容器212の内面212bに最も近い位置から流入した燃料用空気22aは、燃料21と衝突しないまま容器212内を最も深く遡上して、遡上するにつれて燃焼ガス
20 24bと混合して燃焼ガス24aとなる。燃焼ガス24aは比較的低温であるので容器212の内面を過熱から保護する。

一方、容器212の内面212bから最も離れた位置で容器212に流入した燃焼用空気22eは、燃料21(23)の到達点よりも出口26側で反転して出口26方向に流れるため、燃焼ガスとはならないで2次筒200の
25 中心軸J寄りから次第に主火炎60の燃焼ガスと混合する。しかし、この反転した燃焼用空気22eのうち、最も2次筒200の内面200aに近い部分は比較的低温であり、主火炎60の高温から2次筒200の内面200aを保護する。

図17、図18A及び図18Bは、第3実施形態を例示しているが、上述
30 した作用は、第1、第2実施形態、及び以降説明する実施形態でも同様である。

また、構造上の利点としては、燃焼室が容器212と下流の構造(2次筒200)に分割されているため、容器212を容易に取り出すことができ、

従来例と比較して燃焼装置の分解、交換、整備がしやすく、整備性が向上する。

次に、前述の第3実施形態と等価、すなわち互換性のある第4実施形態について、図19を参照して説明する。図19において、第4実施形態の燃焼装置は、容器312の閉鎖端部310が、前述した第1～第3実施形態とは異なって、断面曲線Lrが、一様でない曲率の自由円弧からなる曲面で、所謂「ドーム型」に構成されている。なお、ドーム型容器312の下端312aの内周側には、リング状の接続部材270を介して2次筒200が接続されている。

図19の第4実施形態の燃焼装置の場合も、前記第3実施形態で説明したと同様の作用が実現できる。容器312の閉鎖端部310が曲面で構成されていることにより、特に燃焼温度が高温になる用途において、容器312をセラミックス等の耐熱材料で構成する場合、製作がより容易になり、コストダウンが期待できる。また、燃焼室が容器312と下流の構造（2次筒200）に分割されているため、容器312を容易に取り外すことができ、従来例と比較して燃焼装置の分解、交換、整備がし易く、整備性が向上する。図19の第4実施形態の一部曲面で構成された容器312を第1及び第2実施形態に適用してもよい。

次に、図20を参照して第5実施形態における燃焼装置を説明する。図20の第5実施形態は、図8及び図9の第3実施形態の応用型、即ち、第3実施形態に対して、容器の閉鎖端部近傍において補助空気孔を形成した実施形態である。図20において、第5実施形態の燃焼装置は、容器412の閉鎖端部410近傍の側面413に複数の補助空気孔419を形成した実施形態である。

そのように閉鎖端部410近傍の側面413に形成された複数の補助空気孔419から流入した燃焼用空気22dは向心方向にジェット状に容器412内に流入するので、周囲の燃焼ガス24bを誘引して、容器412の閉鎖端部410近くで全体として容器412の中心方向へ向かう方向に流れを促進する。これによって旋回して流れてきた燃焼ガス24bを筒状容器412の閉鎖端部410近くにおいて筒状容器412の中心寄りに導き、燃料航跡23に向かって再循環させることができる。第5実施形態の補助空気孔419を第1及び第2実施形態に適用してもよい。

次に、図21を参照して、第6実施形態における燃焼装置を説明する。図

2 1 の第 6 実施形態は、図 8 及び図 9 の第 3 実施形態に対して、容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 内側に整流構造であるガイドベーン 1 1 を複数設けた実施形態である。かかるガイドベーン 1 1 を設けることにより、第 5 実施形態（図 2 0 参照）における補助空気孔 4 1 9 と同様の作用を得ることができる。筒状容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 内側に整流構造であるガイドベーン 1 1 を複数設けた以外は図 8 及び図 9 の第 3 実施形態と実質的に同様である。また、当該ガイドベーン 1 1 は、前述の第 1 実施形態、第 2 実施形態及び第 5 実施形態に対しても適用できる。

次に、図 2 2 を参照して、第 7 実施形態における燃焼装置を説明する。図 2 2 の第 7 実施形態は、図 2 0 の第 5 実施形態における補助空気孔 4 1 9 と同様の作用を図 8 及び図 9 の第 3 実施形態の容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 寄りの側面内壁 2 1 3 に整流構造であるガイドベーン 1 1 a を複数設けて実現する実施形態である。容器 2 1 2 の閉鎖端部 2 1 0 寄りの側面内壁 2 1 3 に整流構造であるガイドベーン 1 1 a を複数設けたこと以外は、第 3 実施形態と実質的に同様である。また、当該ガイドベーン 1 1 a は、前述の第 1、第 2 及び第 5 実施形態に対しても適用できる。また、第 6 及び第 7 実施形態に示した整流構造を併設することもできる。

次に、図 2 3 を参照して、第 8 実施形態における燃焼装置を説明する。図 2 3 の第 8 実施形態は、第 6 及び第 7 実施形態と同様にガイドベーン 1 1 b を図 1 9 の第 4 実施形態に適用したものである。即ち、ガイドベーン 1 1 b はドーム状の容器 3 1 2 の曲面から成る閉鎖端部 3 1 0 の曲面の内側に沿って略閉鎖端部 3 1 0 の頂部まで形成されている。

前述の第 6 ～第 8 実施形態に示したガイドベーン 1 1、1 1 a、1 1 b は容器 2 1 2、3 1 2 の閉鎖端部 2 1 0、3 1 0 近傍において、筒状容器 2 1 2 の中心軸 J 方向を開放端部 2 6 から閉鎖端部 2 1 0 に向かう速度成分を持ち且つ筒状容器 2 1 2 の周方向へ旋回する空気の流れを抑制し、及び／又は、当該空気の流れを半径方向に整える作用を奏する。そして、図 2 0 の第 5 実施形態と同様に旋回して流れてきた燃焼ガス 2 4 b（図 2 0 参照）を筒状容器 2 1 2、3 1 2 の閉鎖端部 2 1 0、3 1 0 の中心寄りに導き、円滑に燃料航跡 2 3 に向かって再循環することができる。

前述の第 6 ～第 8 実施形態をさらに発展させた第 9 ～第 1 1 実施形態について、夫々図 2 4 ～図 2 6 を参照して説明する。

まず、図 2 4 の第 9 実施形態は、図 2 1 の第 6 実施形態における整流構造

であるガイドベーン11を最適化した実施形態である。即ち、第9実施形態のガイドベーン11cでは、図21の第6実施形態のガイドベーン11の形状を、燃焼用空気が容器212の中心にスパイラル状に巻き込んで（旋回して）中心部に流れ易いように円弧状に湾曲させている。当該ガイドベーン11cは、第1、第2及び第5実施形態にも適用可能である。また、第7実施形態のガイドベーン11aと共に用いることもできる。

図25の第10実施形態は、図22の第7実施形態における整流構造であるガイドベーン11aを最適化した実施形態である。即ち、第10実施形態のガイドベーン11dでは、図22の第7実施形態のガイドベーン11aの形状を、容器212の内壁213に沿って傾斜させて配置しており、そのガイドベーン11dの上方先端は図示の例では垂直方向に立ち上がるように変形している。当該ガイドベーン11dは、第1、第2及び第5実施形態にも適用可能である。また、第9実施形態に示したガイドベーン11cとともに用いても良いし、第6実施形態のガイドベーン11とともに用いても良い。

図26の第11実施形態は、図23の第8実施形態における整流構造であるガイドベーン11bを最適化した実施形態である。即ち、第11実施形態のガイドベーン11eでは、図23の第8実施形態のガイドベーン11bの形状を、ドーム状容器312の湾曲したドーム内壁313に沿って傾斜させて配置しており、そのガイドベーン11eの上方先端は図示の例では垂直方向に立ち上がるように変形している。

上述の第9～第11実施形態において、整流構造（ガイドベーン）11c、11d、11eは旋回している燃焼ガス24a（図示せず）の流れを積極的、且つよりスムーズに向心方向の流れに偏向する作用をし、これによって旋回して流過して来た燃焼ガス24bをよりスムーズに容器212、312の閉鎖端部210、310近くにおいて容器212、312の中心寄りに導き、燃料航跡23に向かって再循環させることができる。

なお、旋回流れを向心方向の流れに偏向する作用を持つ限りにおいて、整流構造の詳細な形状が変化しても実質的に同一である。また、整流構造は容器212、312に板状又は台状などの物体を付加して構成してもよいし、容器212、312の内面に溝状の形状を構成してもよい。

次に、図27を参照して、第3実施形態の応用例である第12実施形態における燃焼装置を説明する。当該燃焼装置は、容器512の内面513で、燃焼用空気22の流入部20のやや閉鎖端部510寄りに補助的に燃料を噴

射する補助燃料ノズル502を設けた実施形態である。

補助燃料ノズル502から噴射される燃料は主燃料ノズル18から噴射する燃料と同一であっても、異なる燃料であってもよい。燃焼装置が大型であったり、気体燃料で噴射圧力が限られていて、燃料を燃焼用空気22の流入部20（図示せず）まで到達させるのが難しい場合でも、補助燃料ノズル502から同一燃料を噴射すると、図8及び図9の第3実施形態と同様に燃焼ガス再循環により、サーマルNO_xの再生を抑えた燃焼を実現できる。

また、燃料ノズル18から液体燃料を、補助燃料ノズル502から気体燃料を噴射することによって、液／ガス混焼を単純な構成で実現できる。また、補助燃料ノズル502によってターンドウン性能をより向上させることができる。さらに、低発熱量で安定燃焼が難しい燃料を使用する場合、特に発熱量を有しているものの、その熱量が少ない廃液を燃焼処理するような場合には、燃料ノズル18から低発熱量燃料又は廃液を噴射し、補助燃料ノズル502から燃焼性のよい燃料を噴射することによって、第3実施形態と同様に、燃焼ガス再循環により、予蒸発、予混合した燃料となり、サーマルNO_xの生成を抑制した燃焼を実現できる。

なお、図27において補助燃料ノズル502は容器512の内面513に複数のノズルを設けたものであるが、別の構成としては、（図示はしないが）多数の噴射孔を開けた単一の環を容器512の内側側面に配置してもよい。

第12実施形態の補助燃料ノズル502は、第1、第2及び第4～第11実施形態にも適用可能である。

本発明をガスタービンの燃焼装置に適用する場合、上述してきたような実施形態（第1実施形態～第12実施形態）を1次燃焼領域と見做して、出口の下流にさらに空気流入部を設ければよい。一方、ガスタービンの燃焼装置において、燃焼効率が低下して未燃焼成分が排出されたり、NO_x生成が増加したりしないように1次燃焼領域の下流で空気を加えるための技術的工夫は、多く公知になっている。従って、本発明をガスタービンに適用する場合、これまで説明してきた実施形態に公知の技術を適用することで実現できるため、本発明の本質を保ったまま多くの応用的実施形態が可能となる。その全てを記すことはできないが一部の例について以下に説明する。

図28及び図29を参照して、第13実施形態に係るガスタービンの燃焼装置を説明する。図28及び図29の第13実施形態は、前述の図8及び図9の第3実施形態の燃焼装置をガスタービン燃焼装置に適用した実施形態で

ある。

図28及び図29において、当該ガスタービン燃焼装置は、前記第3実施形態と比較すると、2次筒600が上方で接続部材270に接続される小径部602とその小径部602に段部（断面拡張部）604を介して接続する大径部606を有するように2段の異なる断面の筒によって構成されている。図示の例では前記小径部602に1段、大径部606に2段の、各段には複数で各段において同一ピッチの空気孔614が開口されている。

2次筒600は下流で断面が拡張されているが、これは任意に設定できる。また、2次筒600は出口26まで一体で構成されているが、製作上の要請に応じて分割されてもよい。流入ケーシング14が2次筒600と対応して延長された流入ケーシング14bに置き換えられている。

2次筒600の周囲に複数段にわたって形成された空気孔614から2次及び希釈空気618が流入する。図8及び図9の第3実施形態と同様に、1次燃焼領域616では、燃料航跡23に沿って満遍なく燃焼ガス再循環が起こることにより、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼するために、液体燃料の場合には予蒸発燃焼、さらに気体燃料／液体燃料を問わない予混合燃焼、且つ緩慢な燃焼となつて、（通常の拡散燃焼のように局所的に理論混合比となつて局所的に高温な箇所が存在する燃焼ではなく）均一で最高火炎温度の低い、且つ燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量により平均火炎温度が低い燃焼となるため、サーマルNO_xの生成が抑制される。2次筒600の最も上流側の2次空気孔614までの壁面は、第3実施形態と同様に、1次空気617の一部で冷却される。

なお、図示はしないが、2次筒600の2次空気孔614から出口までの壁面には任意に冷却空気孔を開けてもよい。さらに、1次燃焼領域616の安定性が高いために、全空気流量に対する1次空気617の流量比率を多くして、より希薄な1次燃焼として燃焼温度を低くすることができるため、さらにサーマルNO_xの生成を抑制することができる。

さらなる構造の利点として、従来技術とは異なり、1次燃焼領域616の最も出口26寄りの位置で1次空気617が流入するので2次筒600は1次燃焼領域616の最も出口寄りの位置と、2次筒600の出口の2箇所流入ケーシング14bに対して固定される。従つて、1次燃焼領域616の外側を流入ケーシング14bで包んで2重構造にする必要がなく、1次燃焼領域において容器212が露出している。そのため、燃料ノズル18や図示

しない点火装置を流入ケーシング14bを介さず直接容器212に取り付けることができ、構造が単純になるためコストダウンが可能となる。当然ではあるが、露出した容器212は断熱材で断熱処理することが望ましい。

また、2次筒600は流入ケーシング14bに固定された部分の長さが短く、且つ温度が比較的低い2次／希釈領域であるので2次筒600の熱膨張量が減少して、より単純な構造で容器212と流入ケーシング14bを固定できるため、コストダウンが可能である。また、容器212の熱膨張に関しては、容器212の閉鎖端部210が拘束されていないのでまったく問題とはならない。さらに、燃焼室が容器212と下流の構造（2次筒200）に分割されているため、容器212を容易に取り外すことができ、従来と比較して、燃焼装置の分解、交換、整備がし易く、整備性が向上する。

第3実施形態に代えて、第1、第2、及び第6～第12実施形態をガスタービン燃焼装置に適用した場合についても、第13実施形態の作用、効果が同様に実現できる。また、その際、第1、第2、及び第6～第12実施形態夫々の作用、効果はそのまま発揮される。

次に、図30を参照して第14実施形態に係るガスタービン燃焼装置に関して説明する。図30の第14実施形態は、前述の第4実施形態の燃焼装置をガスタービン燃焼装置に適用した実施形態である。

図30において、当該ガスタービン燃焼装置は、前記第4実施形態と比較すると、2次筒が出口26側に延長され、適切な位置に空気孔614が開口された2次筒600に置き換えられている。なお、2次筒600は下流で断面が拡張されているが、これは任意に設定できる。また、2次筒600は出口26まで一体で構成されているが、製作上の要請に応じて分割されてもよい。流入ケーシング14が2次筒600と対応して延長された流入ケーシング14bに置き換えられており、空気孔614から2次及び希釈空気618が流入する。

図19の第4実施形態と同様に1次燃焼領域616では、燃料航跡23に沿って満遍なく燃焼ガス再循環が起こることにより、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼するために、液体燃料の場合には予蒸発燃焼、さらに気体燃焼／液体燃料を問わない予混合燃焼、且つ緩慢な燃焼となつて、（通常の拡散燃焼のように局所的に理論混合比となつて局所的に高温な箇所が存在する燃焼ではなく）均一で最高火炎温度の低い、且つ燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量により平均火炎温度が低い燃焼となるため、サーマルNO_xの生成が

抑制される。2次筒600の最も上流側の2次空気孔614aまでの壁面602aは図19の第4実施形態と同様に1次空気617の一部で冷却される。

なお、図示しないが、2次筒600の2次空気孔614から出口26までの壁面には任意に冷却空気孔を設けてもよい。

- 5 さらに1次燃焼領域616の安定性が高いため、全空気流量に対する1次空気617の流量比率を高めて、より希薄な1次燃焼として燃焼温度を低くすることができるため、さらにサーマルNO_xの生成を抑制できる。また、燃焼室が容器312の閉鎖端部310が曲面でドーム状に構成されていることにより、特に温度が高温になる用途において筒状容器312をセラミック等
- 10 等の耐熱材料で形成する場合、製作がより容易になり、コストダウンが可能となる。

- さらなる構造の利点として、従来技術とは異なり、1次燃焼領域616の最も出口26寄りの位置で1次空気617が流入するので2次筒600は1次燃焼領域616の最も出口寄りの位置と、2次筒600の出口の2箇所
- 15 流入ケーシング14bに対して固定される。従って、1次燃焼領域616の外側を流入ケーシング14bで包んで2重構造にする必要がなく、1次燃焼領域において容器312が露出している。そのため、燃料ノズル18や図示しない点火装置を流入ケーシング14bを介さず直接容器312に取り付けることができ、構造が単純になるためコストダウンが可能となる。当然では
- 20 あるが、露出した容器312は断熱材で断熱処理することが望ましい。

- また、2次筒600は流入ケーシング14bに固定された部分の長さが短く、且つ温度が比較的低い2次／希釈領域であるので2次筒600の熱膨張量が減少して、より単純な構造で容器312と流入ケーシング14bを固定
- 25 できるため、コストダウンが可能である。また、容器312の熱膨張に関しては、容器312の閉鎖端部310が拘束されていないのでまったく問題とはならない。さらに、燃焼室が容器312と下流の構造（2次筒600）に分割されているため、容器312を容易に取り外すことができ、従来と比較して、燃焼装置の分解、交換、整備がし易く、整備性が向上する。

- 次に、図31を参照して、第15実施形態に係るガスタービン燃焼装置に
- 30 関して説明する。図31の第15実施形態は、前述の図20の第5実施形態の燃焼装置をガスタービン燃焼装置に適用した実施形態である。

図31において、当該ガスタービン燃焼装置は、前記第5実施形態と比較すると、2次筒が出口26側に延長され、適切な位置に空気孔614が開口

された2次筒600に置き換えられている。流入ケーシングが2次筒600と対応して延長された流入ケーシング14cに置き換えられており、空気孔614から2次及び希釈空気618が流入する。

図20の第5実施形態と同様に1次燃焼領域616では、燃料航跡23に沿って満遍なく燃焼ガス再循環が起こることにより、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼するために、液体燃料の場合には予蒸発燃焼、さらに気体燃焼／液体燃料を問わない予混合燃焼、且つ緩慢な燃焼となつて、（通常の拡散燃焼のように局所的に理論混合比となつて局所的に高温な箇所が存在する燃焼ではなく）均一で最高火炎温度の低い、且つ燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量により平均火炎温度が低い燃焼となるため、サーマルNO_xの生成が抑制される。2次筒600の最も上流側の2次空気孔614までの壁面602aは第5実施形態と同様に1次空気617の一部で冷却される。

なお、図示しないが、2次筒600の2次空気孔614から出口26までの壁面には任意に冷却空気孔を設けてもよい。さらに1次燃焼領域616の安定性が高いため、全空気流量に対する1次空気617の流量比率を高めて、より希薄な1次燃焼として燃焼温度を低くすることができるため、さらにサーマルNO_xの生成を抑制できる。

さらなる構造の利点として、従来技術とは異なり、1次燃焼領域616の最も出口26寄りの位置、及び容器412の閉鎖端部410で空気が流入するので、2次筒600は流入ケーシング14cに対して容器412の閉鎖端部410と、2次筒600の出口の2箇所固定される。よつて、容器412の閉鎖端部410の外側を流入ケーシング14cで包んで2重構造とする必要がなく、容器412の閉鎖端部410が露出している。そのため、燃料ノズル18や図示しない点火装置を流入ケーシング14cを介さず直接容器412の閉鎖端部410に取り付けることができ、構造が単純になるためコストダウンが可能となる。当然ではあるが、露出した容器412の閉鎖端部410は、断熱材で断熱処理することが望ましい。

次に、図32を参照して、第16実施形態に係るガスタービン燃焼装置に関して説明する。図32の第16実施形態は、前述の図29の第13実施形態の応用例である。

当該ガスタービン燃焼装置は、2次旋回器715で2次空気618を旋回流とすることによつて2次領域での混合を促進することができる。本実施形態の2次旋回器715を、前述の第14、第15実施形態に適用してもよい。

このように1次燃焼領域の下流で空気を加えるに当たって、燃焼効率が低下して未燃成分が排出したり、NO_x生成が増加したりしないための公知の技術的工夫を用いることによって本発明の本質を保ったまま、様々な形の応用実施形態を得ることができる。

- 5 上述してきた実施形態は、単筒型（缶型）燃焼装置に関するものであったが、多くの種類があるアニュラ型（環状）燃焼装置の中には、従来その1次燃焼領域に、旋回により火炎を安定化した図1に示すような従来技術の燃焼装置を、1次燃焼領域として複数設置するタイプがある。本発明の実施形態に係る燃焼装置も本質的な効果を保ったままアニュラ型（環状）燃焼装置の
10 1次燃焼領域として適用できる。図33を参照して、そのようなアニュラ型燃焼装置である第17実施形態における燃焼装置を説明する。

当該燃焼装置（図33）は、前述の図8及び図9の第3実施形態の燃焼装置Cを複数機（図示の例では8機）単一の2次環状容器833に接続し、流入ケーシングを環状流入ケーシング814として、アニュラ型（環状）燃焼
15 装置とし構成したものである。詳細には、複数の燃焼装置Cの2次筒200の端部が2次環状容器833の閉鎖端部834に連通するように接続されている。

図8、図9の第3実施形態に代えて、第1、第2、第4及び第5～第12実施形態を本実施形態（第17実施形態）に適用した場合においても、第1、
20 第2、第4及び第5～第12実施形態の夫々の作用、効果はそのまま発揮される。

また、図示はしないが、図32の第16実施形態の2次旋回器715を図33の第17実施形態に適用してもよい。さらに、図示はしないが、複数機の第3実施形態の燃焼装置を2次環状容器833の周方向だけでなく半径方向に複数列に配置してもよい。これは特に大型の環状燃焼装置に適している。
25

以上説明してきた実施形態は、いずれも空気を旋回させて燃焼室に供給するものであったが、空気を旋回させずに供給する例を図34及び図35に示す。図34及び図35に示す燃焼装置は、旋回器を用いない代わりに、空気流入部20において燃焼室中心軸方向について燃料の流れと対向する向きの
30 速度成分を有するように空気を供給するだけの導入路17を用いた構成としている。この構成によっても、空気流の航跡と燃料流の航跡とを同一にすることなく、空気流の航跡と燃料流の航跡とが2回交わり、空気流の航跡が最初に燃料流の航跡と交わるのは燃料航跡の先端近傍の領域で、空気流の航跡

が燃料流の航跡と2回目に交わるのは、燃料流の航跡の根元から先端近傍までの範囲となるような流れの状態を形成することが可能である。

5 なお、図34及び図35では第2実施形態において旋回器がない場合の構成を示したが、上述した第1、第3～第17実施形態でも同様に旋回器なしの構成をとることもできる。ただし、旋回器を用いた第1～第17実施形態に示した構成であれば、空気流が燃焼装置の内壁面に沿って旋回する旋回流となり遠心力が働くために、空気流が燃焼装置の出口方向に向けて流れの向きを変える前に燃焼装置外周面の内面に沿ってより円滑に、長い距離にわたって遡上させることができる。つまり、第1～第17実施形態に示した構成
10 であれば、図34及び図35に代表的に示した構成に比して、より効率よく上記の流れの状態を形成することが可能である。

次に図36を参照して、上述した実施形態の燃焼装置をガスタービン発電機に適用した実施形態を説明する。図36に示すガスタービン発電機は、ガスタービン装置900と発電機902とを備えている。

15 ガスタービン装置900は、燃焼ガスで回転するタービン904と、燃料と空気との混合気を燃焼させる燃焼器906と、燃焼器906への燃料の供給量を調節する燃料調節弁908と、燃焼器906に空気を圧送する空気圧縮機910と、前記タービン904を間接的に制御対象とする制御装置912とを備えている。ここで、上述した実施形態の燃焼装置は、図36における燃焼器906として使用される。
20

タービン904は、燃焼ガス926を受けて回転する複数の図示しない回転翼を有しており、回転軸914を介して空気圧縮機910に接続されており、そして、図示しないケーシング内に回転自在に支持されている。空気圧縮機910は、回転軸914を介してタービン904により駆動され、空気
25 圧縮機910内に供給された空気916を圧縮するように構成されている。この空気圧縮機910は、配管918を介して燃焼器906に接続されており、空気圧縮機910により圧縮された空気920は、配管918を介して燃焼器906に供給されるように構成されている。

燃料調節弁908は燃焼器906の上流側に配置され、図示しない燃料供給源から供給された燃料922は、この燃料調節弁908を通過した後、燃
30 焼器906に供給される。燃料調節弁908は、弁の開度が可変に構成され、この開度を制御装置912によって制御信号ライン924を介して操作することにより、燃焼器906への燃料922の供給量が調節される。

燃焼器 906 に供給された燃料 922 及び圧縮空気 920 は、燃焼器 906 において混合気を形成し、燃焼器 906 にて混合気が燃焼することにより高温・高圧の燃焼ガス 926 が発生する。そして、発生した高温・高圧の燃焼ガス 926 がタービン 904 に供給されることにより、タービン 904 が高速で回転する。タービン 904 は回転軸 914 を介して発電機 902 に直結されており、タービン 904 が回転することによって発電機 902 が回転駆動されて、発電が行われる。

なお、回転軸 914 の軸近傍（図 36 では発電機 902 の近傍）には、タービン 904 の回転数を検出する回転数検出器 928 が設置されている。回転数検出器 928 により検出した回転速度の情報は、信号ライン 930 を介して、制御装置 912 に伝達される。燃焼器 906 の構成及び作用効果については、上述した各実施形態における燃焼装置の構成及び作用効果と同様である。

以上説明したように、本発明に係る実施形態を汎用の燃焼装置に適用した場合、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して起こすことにより、安定性が高く、且つ燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができる。

高い安定性で燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができるため、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼させて、液体燃料の場合の安定的な蒸発挙動を持った予蒸発燃焼、気体燃料・液体燃料を問わない予混合燃焼、緩慢な燃焼となって均一で最高火炎温度の低い燃焼、燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量による平均火炎温度の低い燃焼、を実現し、従来技術では困難であったサーマル NO_x の生成を抑制できる燃焼装置の提供が実現する。

燃焼装置の内壁が好適に低温の空気流によって冷却されるため、耐久性の高い燃焼装置の提供が実現する。

セラミックス等の耐熱材料の使用が容易な燃焼装置の提供が実現する。また、分解、交換が容易になされるため、整備性に優れた燃焼装置の提供が実現する。

補助燃料ノズルを設けた場合は、気体燃料／液体燃料の混焼や低発熱量の燃料や廃液の燃焼においてもサーマル NO_x の生成を抑制できる燃焼装置の提供が実現する。

上述の実施形態を 1 次燃焼領域としてガスタービン燃焼装置に適用した場合、単純な構造で、燃焼ガス再循環を積極的に制御して起こすことにより、1 次燃焼領域において、安定性が高く、且つ燃焼ガス再循環の作用を最大限

に発揮することができる。

高い安定性で燃焼ガス再循環の作用を最大限に発揮することができるため、高温且つ低酸素濃度の燃焼ガスで燃焼させて、従来の技術では低 NO_x 化が困難であった液体燃料の場合の安定的な蒸発挙動を持った予蒸発燃焼、気体燃料・液体燃料を問わない予混合燃焼、緩慢な燃焼となって均一で最高火炎温度の低い燃焼、燃焼ガス中の不活性ガスの熱容量による平均火炎温度の低い燃焼、を実現し、且つ、より1次燃焼領域を希薄に設計することによりさらに燃焼温度を低く抑えて、サーマル NO_x の生成を抑制できるガスタービン燃焼装置の提供が実現できる。

- 10 燃焼装置の内壁が好適に低温の空気流によって冷却されるため、耐久性の高いガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

セラミックス等の耐熱材料の使用が容易なガスタービン燃焼装置の提供が実現する。また、分解、交換が容易になされるため、整備性に優れたガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

- 15 1次燃焼領域の外側に空気が流れず、ライナを露出させた構造とすることができるため、燃料ノズルや点火装置等を単純な構造で配置でき、コストダウンの可能なガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

ケーシングに対するライナの熱膨張を低減できるため、構造が単純になり、コストダウンが可能なガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

- 20 補助燃料ノズルを設けた場合は、気体燃料／液体燃料の混焼や低発熱量の燃料や廃液の燃焼においてもサーマル NO_x の生成を抑制できるガスタービン燃焼装置の提供が実現する。

- 25 なお、以上説明してきた実施形態は、発明の本質を保つ範囲で任意に変形できるものであり、発明の技術的外延はあくまで請求項の記述によって判断されなければならない。すなわち、図示の実施形態はあくまでも例示であり、本発明の技術的範囲を限定する趣旨の記述ではないことを付記する。

産業上の利用の可能性

- 30 本発明は、燃焼室に燃焼用空気及び燃料を流入し、燃焼用空気及び燃料を混合して燃焼する燃焼装置に好適に利用できる。

請求の範囲

1. 単筒状の燃焼室と、

燃焼用空気を前記燃焼室内に供給する空気供給部と、

5 前記燃焼室内に燃料を供給する燃料供給部と、
を備え、

前記燃焼室内に供給された空気が、前記燃料供給部から離隔した領域で前記燃焼室内に供給された燃料の航跡と最初に交わり、前記燃料供給部近傍の領域で供給された燃料の航跡と再び交わるように構成された、燃焼装置。

10

2. 前記燃料供給部は、前記燃焼室の中心軸方向の速度成分と前記燃焼室の中心軸から該燃焼室の壁面に向かう方向の速度成分とを有する燃料の流れを形成するように構成され、

前記空気供給部は、前記燃焼室の中心軸方向については燃料の流れと対向する向きの速度成分を有し且つ周方向へ旋回する速度成分を有する燃焼用空気の流れを形成するように構成されている、請求項1に記載の燃焼装置。

15

3. 前記燃料の流れは燃焼装置の出口方向へ向かう速度成分を有しており、

前記燃焼用空気の流れは出口方向と逆方向へ向かう速度成分を有している、
20 請求項2に記載の燃焼装置。

4. 閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、

前記筒状容器の中心軸方向に前記閉鎖端部から離隔した位置で筒状容器の側面を貫通して形成され、前記筒状容器内の燃焼室に燃焼用空気を供給する
25 流入流路と、

前記筒状容器の閉鎖端部の内側に設けられ、前記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルと、
を備え、

前記流入流路は、前記開放端部から前記閉鎖端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び前記筒状容器の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れを形成するように構成され、

30

前記燃料ノズルは、前記閉鎖端部から前記開放端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料を前記流入流路に向けて噴射するように構成された、燃焼装置。

5. 閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、
前記筒状容器内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路と、
前記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルと、
を備え、

5 前記筒状容器は、前記閉鎖端部から前記筒状容器の中心軸に沿って所定の距離だけ離れた位置で径が小さくなっており、

前記流入流路は、前記筒状容器の径が小さくなっている部分に形成されるとともに、前記開放端部から前記閉鎖端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び前記筒状容器の周方向に旋回する速度成分を有する空気の
10 流れを形成するように構成され、

前記燃料ノズルは、前記閉鎖端部から前記開放端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように燃料を前記流入流路に向けて噴射するように構成された、燃焼装置。

15 6. 閉鎖端部と開放端部とを有する筒状容器と、

前記筒状容器の中心軸と略同軸に且つ前記開放端部側に配置され、前記筒状容器の径よりも小さな径を有する筒状部材と、

前記筒状容器の開放端部と前記筒状部材の外周面とを接続する環状の接続部材と、

20 前記接続部材に形成され、前記筒状容器内の燃焼室に燃焼用空気を供給する流入流路と、

前記筒状容器の閉鎖端部の内側に設けられ、前記筒状容器内の燃焼室に燃料を供給する燃料ノズルと、
を備え、

25 前記流入流路は、前記開放端部から前記閉鎖端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び前記筒状容器の周方向に旋回する速度成分を有する空気の流れを形成するように構成され、

前記燃料ノズルは、前記閉鎖端部から前記開放端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分及び半径方向外方へ向かう速度成分を有するように
30 燃料を前記流入流路に向けて噴射するように構成された、燃焼装置。

7. 前記筒状容器の側面の前記閉鎖端部近傍に、前記筒状容器の半径方向内側に向かって空気を流入するための第2の流入流路を設けた、請求項4から6のいずれか1項に記載の燃焼装置。

- 5 8. 前記筒状容器内部の閉鎖端部及び／又は前記閉鎖端部近傍の側壁に、前記開放端部から前記閉鎖端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分を持ち且つ前記筒状容器の周方向へ旋回する空気の流れを、前記閉鎖端部近傍の領域で抑制する整流構造を設けた、請求項4から7のいずれか1項に記載の燃焼装置。

10

9. 前記筒状容器内部の閉鎖端部及び／又は前記閉鎖端部近傍の側壁に、前記開放端部から前記閉鎖端部に向かう前記筒状容器の中心軸方向の速度成分を持ち且つ前記筒状容器の周方向へ旋回する空気の流れを、前記閉鎖端部近傍の領域で半径方向内方に向かう流れに変換する整流構造を設けた、請求項
- 15 4から8のいずれか1項に記載の燃焼装置。

10. 前記筒状容器内部で前記中心軸方向について前記流入流路よりも前記閉鎖端部に近い位置に付加的な燃料ノズルを設けた、請求項4から9のいずれか1項に記載の燃焼装置。

20

11. 燃焼装置内の燃焼室に燃焼用空気及び燃料を流入して混合して燃焼させる燃焼方法であって、

前記燃焼室内の空気流の航跡と燃料流の航跡が同一ではなく、

- 25 前記空気流の航跡は、前記燃料流の航跡と、最初に前記燃料流の航跡の先端近傍の領域で交わり、次に前記燃料流の航跡の根元から前記先端近傍までの範囲で交わる、燃焼方法。

12. 前記燃料流は、前記燃焼室の中心軸方向の速度成分と、前記燃焼室の中心軸から前記燃焼室の壁面に向かう方向の速度成分とを有し、

- 30 前記空気流は、前記燃焼室の中心軸方向については前記燃料流と対向する向きの速度成分を有し且つ周方向へ旋回する速度成分を有する、請求項11に記載の燃焼方法。